

ВЛИЯНИЕ ИОНОВ МЕДИ НА ПОКАЗАТЕЛИ ГАЗООБМЕНА У ПРЭСНОВОДНЫХ ГИДРОБИОНТОВ

О.М. Балаева-Тихомирова, Е.И. Кацнельсон
Витебск, ВГУ имени П.М. Машерова

Поиск средств и методов оценки качества водной среды остается актуальным. Особое значение для биоиндикации поверхностных вод имеют гидробионты, которые способны к специфическому и неселективному реагированию на загрязнение. Реакция органов дыхания является одной из самых чувствительных функций водных организмов и изучается чаще всего по показателям системы обеспечения кислородного режима организма [1].

Цель работы – установить влияние ионов меди на газообмен легочных пресноводных моллюсков.

Материал и методы. В эксперименте были использованы моллюски двух видов: прудовик обыкновенный – *Lymnaea stagnalis* и катушка роговая – *Planorbarius corneus*, которые были собраны в бассейне реки Витьба (Витебск, Беларусь) в осенне-весенний период. Для адаптации перед началом эксперимента животные содержались в лабораторных условиях: в сосудах с непроточной водой в течение 10 суток при стандартных условиях ($t = 18-20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\text{pH} = 7,2-7,4$; содержание кислорода в воде – $10\text{ мг}\times\text{л}^{-1}$), из расчета не менее 0,5 литра на особь, кормили молодыми листьями салата, меняли воду каждые три дня.

Для расчета дыхательного коэффициента использовали отношение объема выделяемого из организма углекислого газа к объему, поглощаемого за то же время кислорода [2]. Интенсивность общего газообмена у гидробионтов устанавливали по сумме поглощенного кислорода и выделившегося углекислого газа. Для этого применялись стеклянные сосуды объемом 250 см^3 , по одному на каждую особь. Сосуды заполнялись водой до полного вытеснения воздуха. В каждый сосуд помещали по одному моллюску одинакового размера, после чего сосуды герметично закрывали пробками и выдерживали в течение четырех часов для проведения дальнейшего анализа по Стоганову. Определение интенсивности потребления кислорода осуществлялось с помощью йодометрического титрования исследуемой пробы тиосульфата натрия по методу Winkler [3]. Интенсивность выделения углекислого газа определялась методом потенциометрического титрования раствором гидроксида натрия, согласно модифицированному методу Аликина [3].

Весь цифровой материал вводили для хранения и обработки в таблицы Microsoft Excel с применением теста Манна-Уитни. Полученные результаты представлены в виде медианы и интерквартильной широты (25 перцентиль – 75 перцентиль). Для оценки достоверности различий между независимыми выборками использовали тест Манна-Уитни, U критическое для критерия Манна-Уитни $U_{\text{кр}} = 27$ при $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение. При исследовании процессов газообмена у прудовика обыкновенного и катушки роговой выявлена тесная взаимосвязь между количеством потребляемого кислорода и концентрацией выделяемого при этом углекислого газа. При сравнении межвидовых особенностей установлены статистически значимые отличия между *Lymnaea stagnalis* и *Planorbarius corneus*. При сравнении дыхательного коэффициента у прудовика обыкновенного и катушки роговой разница составила 2,5 раза, что связано с особенностью молекулярных механизмов транспорта кислорода. Результат экспериментальных исследований позволяет предположить, что молекулярные механизмы транспорта кислорода исследуемых организмов, с использованием

в качестве белков-переносчиков гемоцианина и гемоглобина, приводит к различным реакциям на характерные изменения факторов среды обитания. В исследованиях Пузаткиной Е.А. [3] была установлена взаимосвязь между содержанием каротиноидов и показателями газообмена моллюсков, что связано с межвидовыми особенностями, которые в последствии влияют на способность организма адаптироваться к неблагоприятным факторам среды.

Результаты исследования влияния сульфата меди (II) на газообмен прудовика обыкновенного и катушки роговой представлены в таблице. Статистически значимые отличия зафиксированы у *Lymnaea stagnalis* при воздействии сульфата меди (II) во всех концентрациях. Отмечено, снижение уровня поглощения кислорода и, как следствие, выделения углекислого газа. При расчете значений дыхательного коэффициента так же выявлены значимые изменения во всех используемых в эксперименте концентрациях токсиканта (0,01; 0,1 и 1 мг/дм³). При воздействии поллютанта в высоких дозах фиксируется значение дыхательного коэффициента выше единицы, что свидетельствует об изменении в обмене веществ и переключении аэробного дыхания на химические реакции, протекающие в организме при анаэробных процессах. Данные изменения свидетельствуют о развитии адаптационных механизмов, которые являются следствием негативного воздействия окружающей среды.

Таблица – Показатели газообмена (мг/г час) моллюсков при влиянии ионов меди различных концентрациях ионов меди [25%; 75%]

Показатели	Концентрация CuSO ₄ , мг/дм ³			
	Контроль (n=27)	0,01 (n=27)	0,1 (n=27)	1 (n=27)
<i>Lymnaea stagnalis</i>				
Интенсивность потребления кислорода, мг/г·час	0,094 [0,089-0,097]	0,023 [0,018-0,025] ¹ p<0,05	0,016 [0,015-0,018] ¹ p<0,05	0,010 [0,009-0,012] ¹ p<0,05
Интенсивность выделения углекислого газа, мг/г·час	0,037 [0,035-0,039]	0,017 [0,016-0,018] ¹ p<0,05	0,022 [0,018-0,027] ¹ p<0,05	0,021 [0,019-0,022] ¹ p<0,05
Дыхательный коэффициент	0,394 [0,393-0,402]	0,739 [0,720-0,889] ¹ p<0,05	1,375 [1,200-1,500] ¹ p<0,05	2,100 [1,833-2,111] ¹ p<0,05
<i>Planorbarius corneus</i>				
Интенсивность потребления кислорода, мг/г·час	0,023 [0,021-0,026]	0,027 [0,024-0,029]	0,019 [0,018-0,021]	0,009 [0,008-0,010] ¹ p<0,05
Интенсивность выделения углекислого газа, мг/г·час	0,021 [0,018-0,024]	0,023 [0,020-0,024]	0,020 [0,017-0,022]	0,022 [0,020-0,024] ¹ p<0,05
Дыхательный коэффициент	0,913 [0,857-0,923]	0,852 [0,828-0,833]	1,053 [0,952-1,222]	2,444 [2,400-2,500] ¹ p<0,05

Примечание: ¹p<0,05 – по сравнению с контрольной группой.

У моллюсков, использующих в качестве белка-переносчика гемоглобин, при воздействии сульфата меди (II) в концентрациях 0,01 и 0,1 мг/дм³ по сравнению с контролем не установлено статистически значимых отличий в содержаниях кислорода и углекислого газа. Значительные изменения в газообмене гидробионтов отмечаются при повышении содержания соли меди до 1 мг/дм³. В данной концентрации сульфата меди (II) дыхательный коэффициент также отличается от контрольных значений, таких изменений не зафиксировано при более низком содержании тяжелого металла. У моллюсков были отмечены изменения в процессах дыхания и газообмена, из-за гипоксии, развивающейся в ответ на воздействие ионов Cu²⁺. Однако, установленные изменения

по-разному воздействовали на два вида экспериментальных моллюсков. Все используемые концентрации растворов сульфата меди (II) у прудовика обыкновенного приводили к снижению поглощения растворенного в воде кислорода и, как следствие, уменьшению выделения углекислого газа. Белком–переносчиком кислорода у прудовиков служит гемоцианин. Для катушки роговой, у которой белком–переносчиком является гемоглобин (эволюционно более совершенная структура для связывания и транспортировки кислорода), сходное воздействие на газообмен выявлено только в растворе с концентрацией соли 1 мг/дм³.

В результате расчета дыхательного коэффициента у прудовика обыкновенного значения выше единицы были получены при влиянии сульфата меди (II) в средней и высокой концентрациях. Такого изменения коэффициента не фиксировалось у катушки роговой при концентрациях сульфата меди (II) 0,01 и 0,1 мг/дм³, только при содержании в воде токсиканта в количестве 1 мг/дм³ отмечено увеличение дыхательного коэффициента выше единицы. Таким образом, на основании экспериментальных данных можно сделать вывод о том, что легочные пресноводные моллюски при уменьшении потребления кислорода используют в качестве адаптации механизм переключения обмена веществ на реакции разложения углеводов, которые являются основными процессами анаэробного гликолиза.

Заключение. Влияние ионов меди приводит к развитию адаптационных механизмов за счет подавления потребления кислорода и снижения выделения углекислого газа, использования в качестве резервного источника энергии только углеводов и функционирования параллельно анаэробного гликолиза совместно с аэробными процессами. Установлена видовая специфичность газообмена у *Lymnaea stagnalis* и *Planorbis corneus*. В сравнении с прудовиком обыкновенным, роговая катушка обладает большей устойчивостью к воздействию ионов меди. У роговой катушки статистически значимые изменения в газообмене установлены только при влиянии ионов меди в концентрации 1,0 мг/дм³. У прудовика обыкновенного такие изменения отмечены при воздействии токсиканта всех исследуемых концентраций, что обусловлено различиями в молекулярных механизмах переноса кислорода. Таким образом, изменения дыхательного коэффициента моллюсков находится в зависимости вида, экологических условий обитания, степени негативного влияния, способности использовать процессы анаэробного дыхания и молекулярных механизмов транспорта кислорода.

1. Балаева-Тихомирова, О.М. Токсическое действие ионов меди на организмы, отличающиеся молекулярными механизмами транспорта кислорода / О.М. Балаева-Тихомирова, Е.И. Кацнельсон // Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта. – 2025. – № 3. – С. 48-55.

2. Ходоровская, Н.И. Физико-химические и гидробиологические методы исследования экологического состояния водоемов / Н.И. Ходоровская, О.Н. Кандерова. – Челябинск. Изд. ЮУрГУ, 2002. – 70 с.

3. Пузаткина, Е.А. Влияние экзогенных факторов на состояние газообмена и содержание каратиноидов: дис. ...канд. биол. наук: 03.00.16 / Е.А. Пузаткина; Казан. гос. ун-т. – Казань, 2006. – 187 с.

СДВИГИ В ВОСПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ (2014–2024 ГГ.)

*М.Ю. Бобрик
Витебск, ВГУ имени П.М. Машерова*

Воспроизводство населения – это возобновление населения в результате рождаемости и смертности, определяющее вместе с миграцией численность населения конкретной территории.

В последние десятилетия и Республика Беларусь, и ее регионы характеризовались различными трендами в динамике данных показателей.